Graphische Studien über die Erregbarkeitsverhältnisse im Elektrotonus

Dr. **J. Zanietowski,**

s. Z. I. Assistent des physiologischen Institutes in Krakau.

Aus dem physiologischen Institute der k. k. Universität in Wien.

(Mit 1 Tafel und 6 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 1. April 1897.)

Nachdem E. Pflüger seine Untersuchungen über Elektrotonus im Jahre 1859 veröffentlicht hatte, sind, wie bekannt, von vielen Gelehrten die Versuche wiederholt worden und haben theils zu denselben, theils zu abweichenden Resultaten geführt.

Die ersten Ergebnisse von Budge,[1] Valentin,[2] Herzen[3] u. s. w. stimmen keineswegs unter einander, noch mit jenen von Pflüger überein; es ist bekannt, dass diese Nachprüfungen nicht immer mit hinlänglicher Sorgfalt ausgeführt wurden. Die späteren Versuche von Billharz und Nasse,[4] Munk,[5] Bernstein[6] und Grünhagen[7] etc. wurden zwar sorgfältiger ausgeführt, doch finden wir hie und da Bemerkungen, welche

[1] Budge, Über verschiedene Reizbarkeit eines und desselben Nerven. Arch. f. path. Anat u. Physiol., XXVIII, S. 232.

[2] Valentin, Einige Versuche über die Einflüsse des beständigen Stromes. Zeitschr. f. Biologie, 1872, VIII, 235.

[3] Schiff und Herzen, Über die Veränderungen der Erregbarkeit in dem durch constante Ströme polarisirten Nerven. Unters. z. Naturlehre, X, 431.

[4] Billharz und Nasse, Arch. f. d. ges. Phys., VIII, 1862, S. 66.

[5] Munk, Unters. über das Wesen der Nervenerregung. Leipzig 1868.

[6] Bernstein, Arch. f. d. ges. Physiol., VIII, 1874, S. 40.

[7] Grünhagen, Arch. f. d. ges. Physiol., IV 1871, S. 547

zeigen, dass die Resultate auch jetzt nicht immer unbedingt durch Pflüger's Auffassung verständlich waren. Solche Äusserungen lauteten betreffs einzelner Ergebnisse z. B. »ganz unverständlich«,[1] »nicht hinreichend aufgeklärt«,[2] »vorderhand ganz unerklärlich«[3] u. s. w. Auf derartige Bemerkungen ist die Unsicherheit in der Darstellung unseres Gegenstandes in manchen Lehrbüchern zurückzuführen.

Betreffs der Ursachen dieser mangelhaften Übereinstimmung stellte ich im vorigen Jahre die Ansicht auf:

1. Dass die Verfasser die Stärke des polarisirenden constanten Stromes nicht genau berücksichtigt haben und sie nur mit allgemeinen Ausdrücken bezeichneten, wie z. B. ein Strom von 7 Grove'schen Elementen, der durch einen 300 *cm* langen, 0·3 *mm* dicken Draht geleitet wird und dem am Multiplicator eine Ablenkung von 70° entspricht;

2. dass sie nicht immer den Verlauf der elektrotonischen Erregbarkeitsveränderungen in der Zeit berücksichtigt haben, oder doch in der Publication nicht deutlich zum Ausdruck brachten, in welcher Zeit nach Schliessung des constanten Stromes sie ihre Beobachtung machten;

3. dass es bei der Anwendung der bisherigen Reizmethoden unmöglich war, die Erregbarkeit der intrapolaren Strecke des Nerven wegen zu grosser Complicationen genau zu ermitteln.

Um nun diese Mängel möglichst zu vermeiden, habe ich in meiner jüngsten Arbeit[4] 1. den polarisirenden Strom genau mittelst eines empfindlichen Galvanometers gemessen und die einzelnen Abstufungen des Stromes, welcher bisher nach Pflüger's Tabelle schwacher, mittelstarker und starker Strom genannt wurden, in Ampères ausgedrückt, 2. die Abhängigkeit der Veränderungen von der Polarisationsdauer genau untersucht und 3. zum Reizen die früher beschriebene Condensatormethode angewandt, welche einerseits gestattet, auch intra-

---

[1] Meissner's Zeitschr. f. ration. Med., 1863, S. 358.

[2] Hermann, Handbuch der Physiologie, S. 45.

[3] Ibidem S. 46,

[4] Zanietowski, Variations électrotoniques de l'excitabilité des nerfs. Cracovie. Académie des Sciences. Bulletin, Mai 1895 und Verhandlungen (ibidem), Band XXX, 1896, S. 92—139.

polare Veränderungen der Erregbarkeit zu untersuchen, anderseits aber Minimalschwankungen dieser Erregbarkeit erkennen und in Einheiten bestimmen lässt.

Auf die Einzelheiten dieser Thatsachen kann ich mich nicht einlassen und verweise auf die obgenannte Arbeit, erwähne jedoch Folgendes:

1. Die elektrotonischen Veränderungen der Erregbarkeit habe ich schon bei Anwendung eines polarisirenden constanten Stromes gefunden, welcher noch keine Muskelzuckung, weder bei Schliessung noch bei Öffnung, eintreten lässt und der schwächer als 0·0000001 Ampère ist; 2. bei Anwendung von schwachen Strömen (im Sinne Pflüger's), deren Intensität ich bei meinen Versuchen mit 0·0000001—0·000001, und bei mittelstarken Strömen mit 0·000001—0·00002 Ampères bestimmte, habe ich die Pflüger'schen Gesetze sowohl intrapolar, als extrapolar bestätigen können; dabei will ich auch bemerken, dass ich mit Hilfe dieser Methode sowohl die Erregbarkeit in jedem beliebigen Punkte der intrapolaren Strecke, als auch die Lage des Indifferenzpunktes für jede Stromstärke bestimmen konnte, während Pflüger nur die totale Erregbarkeit der intrapolaren Strecke zu bestimmen in der Lage war und Tigerstedt mit Hilfe seiner mechanischen intrapolaren Reizung trotz aller Sorgfalt jedenfalls den Nerv mehr schädigte, als das bei meinen Versuchen der Fall war. 3. Was endlich den Verlauf der Erregbarkeitsveränderungen in der Zeit anbelangt, habe ich im Allgemeinen Folgendes gefunden: Nach der Schliessung des constanten Stromes tritt bei der Kathode nicht nur Reizbarkeitsvermehrung, sondern darauffolgend Reizbarkeitsverminderung auf; bei der Anode haben wir es stets mit einer Reizbarkeitsverminderung zu thun.

Ausser diesen Hauptergebnissen habe ich noch die Thatsache bemerkt, dass bei der Anwendung von starken polarisirenden Strömen die Erregbarkeit sowohl bei der Kathode, als auch bei der Anode herabgesetzt wird und dass die Zuckungen manchmal sogar ganz fehlen können, ein Umstand dessen Ursache ich nicht in der Leitungsunfähigkeit des Nerven erblicken konnte, da dies in gleicher Weise bei intrapolaren, und auch bei extrapolaren Reizungen zum Ausdruck kam.

Dieser letzten Erscheinung ist die vorliegende Arbeit gewidmet; ich beginne mit der einschlägigen Litteratur.

Fast allgemein findet sich die Angabe,[1] dass jeder den motorischen Nerv durchfliessende Strom an der Anode Verminderung der Reizbarkeit, an der Kathode Erhöhung derselben herstellt, »es wohnt eine ausnahmslose Giltigkeit den vorstehend mitgetheilten Gesetzen inne«.[2]

Wir finden jedoch bei einigen Verfassern Citate, die auf Ausnahmen bezüglich des starken Stromes hinweisen.

So sagt z. B. Wundt:[3] »Bei stärkeren Strömen ist die Erregbarkeit scheinbar vermindert, indem die Erregung in Folge der Leitung durch die vom constanten Strom durchflossene ..Strecke zum Verschwinden kommt«.

Eine ähnliche Meinung spricht Fick[4] aus, indem er behauptet: »Die Leitungsfähigkeit des Nerven ist auf der durchflossenen Strecke herabgesetzt, da man anders nicht erklären könnte, dass ein oberhalb eines constanten Stromes (also in der Region des Katelektrotonus) angebrachter Reiz eine geschwächte oder gar keine Zuckung auslöst, wofern der aufsteigende Strom stark ist; man hat sich in diesem Falle vorzustellen, dass zwar der Erregungsprocess am Orte des Reizes selbst verstärkt ist, dass er aber bei der Fortpflanzung durch die elektrotonisirte Nervenstrecke Hindernisse trifft, die ihn geschwächt oder gar nicht zum Muskel gelangen lassen«.

Ferner fand Hermann,[5] dass bei starken Strömen die Muskelzuckungen abnehmen und ganz aufgehoben werden, wenn die Reizung den negativen Pol zu überschreiten hatte.

Von dieser Thatsache spricht Tigerstedt[6] in folgender Weise: »Beim aufsteigenden Strom liess sich dieses aus

[1] Lehrbücher von Wundt (1868), Foster (1873), Brücke (1875), Rosenthal (1877), Hermann (1886), Chapman (1887), Landois (1895), Bernstein (1895), Munk (1897) u. s. w.

[2] Funke, Lehrbuch der Physiologie. Leipzig 1876.

[3] Wundt, Lehrbuch der Physiologie, 1878, S. 559.

[4] Fick, Compendium der Physiologie. Wien 1874.

[5] Hermann, Archiv für die ges. Physiologie, VII, 1873, S. 323—64.

[6] Tigerstedt, Bihang Till. k. So. Vet. Akad. Handl. Stockholm 1882, S. 10—11.

Pflüger's Theorie erklären durch die Hemmung am positiven Pol; aber diese Theorie konnte unmöglich Aufschluss geben, warum durch einen absteigenden Strom die Wirkung eines in der Nähe des negativen Poles angebrachten Reizes vermindert oder aufgehoben werden sollte«.. »Dieses kann natürlich ohne neue Versuche nicht entschieden werden, zum allerwenigsten, wenn wir keine detaillirten Angaben haben, an welche wir uns halten könnten.«

Vierordt[1] spricht sogar von einer Verschiebung des Indifferenzpunktes jenseits des negativen Poles, mit anderen Worten: von einer Herabsetzung der Erregbarkeit an beiden Polen.

Hermann,[2] der sich nicht nur mit dem physiologischen, sondern auch mit dem physikalischen Elektrotonus beschäftigte, spricht auch von einer ähnlichen Verschiebung, und zwar sagt er in seiner Arbeit über die Fortpflanzung des Elektrotonus auf die intramusculären Nervenenden, dass es Fälle gibt, »wo die Polarisationsconstanten für beide Polarisationsstellen ungleiche Grösse haben. Für solche Fälle ist nun scheinbar das Einfachste, die Polarisationscurve jeder der beiden Elektroden für sich festzustellen und beide jetzt verschiedene Curven algebraisch zu summiren; im Allgemeinen würde dann der Indifferenzpunkt nicht in die Mitte der durchflossenen Strecke fallen.« »Wir können jedoch noch gar nicht übersehen, ob nicht die Theorie dieses Falles wirklich eine Verschiebung des indifferenten Punktes mit der Stromstärke ergeben wird« »aber die Erklärung der Verschiebung muss der Zukunft überlassen bleiben«.

Boruttau[3] endlich spricht in seinen Versuchen über die phasischen Actionsströme von einem »anelektrotonischen Strome auf der Kathodenseite«, der durch die ältere Vorstellung wohl kaum zu erklären sein dürfte,« »so dass der extrapolaren Ionenausbreitung durch intramoleculare Strömchen wohl definitiv der Vorzug gegeben werden muss«.

---

[1] Vierordt, Grundriss der Physiologie. Tübingen 1877, S. 114.

[2] Hermann, Über die Erstreckung des Elektrotonus auf die intramusculösen Nervenenden. Pflüger's Archiv, Bd. VII.

[3] Boruttau, Pflüger's Archiv, 66, S. 290.

Wir sehen aus den erwähnten Darstellungen, dass die Verminderung oder sogar Herabsetzung der Erregbarkeit an der Kathodenstelle schon mehrfach bemerkt wurde, dass aber die Erklärung dieser Thatsache der Zukunft überlassen blieb.

Meine Versuche, die ich zur Lösung dieser Frage unternommen habe, wurden mit folgenden Apparaten angestellt:

Zuerst wurde ein Myographion construirt, das es ermöglichte, mittelst Condensatorentladungen verschiedene intrapolare Stellen des Nerven zu reizen und die ausgelösten Zuckungen graphisch darzustellen.

Dasselbe ist im Schema der Versuchsanordnung (s. Tafel) auf der rechten Seite unter *M* ersichtlich und besteht aus zwei wesentlichen Theilen: einem horizontal liegenden Korkbrett mit einem Schreibhebel *(N)*, welcher zur Registrirung der Zuckungen dient, und aus einer Reihe von Platinelektroden *(O)*, deren zwei *(m, n)* für den polarisirenden Strom und die anderen für die Condensatorentladungen dienen.

Die Ersteren sind mittelst zweier Drähte *(g, h)* mit der polarisirenden Kette *(B)* und mit dem Edelmann'schen Galvanometer *(E)* verbunden, die Übrigen sind derart eingerichtet, dass jedes benachbarte Elektrodenpaar mittelst kleiner, in Paraffin eingelassener Quecksilbernäpfchen pp' und rr' und eines verschiebbaren Drahtgestelles *(P)* mit den Reizvorrichtungen in Verbindung gebracht werden kann (auf dem Wege xff' und yee').

Der beschriebene Apparat unterscheidet sich somit von demjenigen, den ich in meiner früheren Abhandlung beschrieben habe, darin, dass man mit seiner Hilfe graphische Versuche anstellen kann, während ich bisher nur mit blossem Auge die Minimalzuckungen des Vorderschenkels beobachtet hatte.

Zur Reizung des Nerven, beziehungsweise zur Bestimmung der Erregbarkeitsveränderungen habe ich mich, wie erwähnt, der Condensatormethode bedient.

Das Wesentliche dieser Methode besteht, wie bekannt,[1] darin, dass ein Condensator *(K)* mittelst einer Batterie *(D)* auf eine bestimmte und veränderliche Potentialdifferenz geladen

[1] Cybulski und Zanietowski, Über die Anwendung des Condensators. Pflüger's Archiv, Bd. 55, S. 45—148.

wird und sich dann durch den Nerven hindurch entladet. Zur Herstellung und Messung der Potentialdifferenz dient die Compensationsvorrichtung *R*, welche einerseits mit dem Ampèremeter *G*, anderseits mit dem gleich zu beschreibenden Umschaltapparat *(U)* in Verbindung steht (durch *cc'* und δδ'). In dem Stromkreise befindet sich weiter ein Rheostat *(R')* zur Regulirung der Stromintensität.

Der erwähnte Umschaltapparat[1] *(U)* ist eine elektrisch betriebene Pohl'sche Wippe ohne Kreuz, welche nach Bedürfniss einmal umgelegt werden oder nach dem Principe eines Neef-schen Hammers oftmals in der Secunde die Umschaltung bewirken kann.

Sein Hauptbestandtheil ist ein vertical stehender Neef'scher Hammer, der seine Drehungsaxe *(X)* in der Mitte hat und mit einem Laufgewichte *(V)* zur Variirung der Schwingungsdauer versehen ist. An seiner Drehungsaxe trägt er einen Ebonitwürfel *(W)*, in dem zwei horizontal liegende, dicke Kupferdrähte (I, II) eingeklemmt sind, welche beiderseits in je ein Paar Quecksilbernäpfe (III, IV) eintauchen.

Diese Näpfchen können mittelst einer Schraube vertical verschoben werden, was zur feineren Einstellung des Contactes dient.

Ein Paar (III) derselben steht, wie gesagt, in Verbindung mit der Compensationsvorrichtung (*R*), das andere Paar (IV) mit den Elektroden (bei *O*). Von jedem der beiden Drähte (I und II) geht innerhalb des Ebonitwürfels eine Verbindung durch Träger (V und VI) und die Drähte *ab* zum Condensator *K*.

Es ist nun aus der Beschreibung ersichtlich, dass dieser Apparat die Rolle einer einfachen Wippe spielt und dazu dient, den Condensator abwechselnd mit der Stromquelle und mit dem Nerven in Verbindung zu setzen.

Zur Ergänzung sei noch erwähnt, dass am Apparate drei Klemmen (β, β', γ) angebracht sind, welche je nach ihrer Verbindung mit der Batterie *(A)* den Hammer entweder einmal umlegen oder in vibrirende Bewegung versetzen.

---

[1] Der Umschaltapparat wurde nach meinen Angaben vom Mechaniker des Wiener physiolog. Institutes, L. Castagna, construirt.

Ausser den bisher beschriebenen Apparaten, d. h. dem Myographion und dem Reizapparate, habe ich mich noch einer Einrichtung bedient, die mir erlaubte, in einem beliebigen und variablen Momente nach der Schliessung des constanten Stromes die Nervenerregbarkeit zu prüfen. Zu diesem Zwecke habe ich eine rheotomartige Vorrichtung *(F)* benützt, deren Quecksilbernäpfchen *(l, o)* derart in den Stromkreis (α, β, γ, δ, ε) eingeschaltet waren, dass zwischen dem Neef'schen Hammer und der denselben in Bewegung setzenden Batterie *(A)* nur dann eine Verbindung stattfinden konnte, wenn die rotirenden Contacte *(G, K)* in die Näpfchen eintauchten. Die Geschwindigkeit der Rotirung des von einem grossen Uhrwerk in Bewegung gesetzten Rheotoms sowohl wie der Moment des Reizes konnten mittelst des Elektromagneten *(d)* registrirt werden. Ausserdem war noch am Rheotom ein verschiebbarer Seitencontact *(L)* angebracht, der in einem gewissen Moment der Rotation den polarisirenden Strom schloss und bis auf Weiteres geschlossen liess. Dabei konnte der Nerv rhytmisch weiter mit Condensatorentladungen gereizt werden, wodurch eine Serie von Zuckungen auf der langsam rotirenden berussten Kymographiontrommel *(T)* aufgezeichnet wurde.

Der Verlauf jedes Versuches war folgender: Zuerst wurde an einem Frosche der M. gastrocnemius mit dem Nerven präparirt, und das ganze Thier auf dem Myographion entsprechend in einer feuchten Kammer angebracht, an deren Seitenwand eine Öffnung war, die dazu diente, den Muskel durch ein Gewicht mittelst eines Fadens zu belasten.

Dann wurde der Strom des Elementes *(D)* regulirt, um mit einer bekannten Condensatorentladung zu reizen. Nunmehr wurde das Rheotom in Bewegung gesetzt, so dass bei jeder Umdrehung seine Spitzen *(G, K)* in die Quecksilbernäpfe *(l, o)* eintauchten und die Batterie *(A)* mit dem Magneten des Neef'schen Hammers in Verbindung setzten, so dass der Nerv in gewissen Zeitabständen gereizt wurde. Da in diesem Stromkreis, wie aus der Figur ersichtlich ist, auch ein Schreibmagnet *(d)* eingeschaltet war, konnte man auf der berussten Platte *(T)* unter den Muskelzuckungen die Anzahl der Reize aufschreiben; die Zeit wurde mittelst einer schwingenden Feder von Basch (2) auf

derselben Platte notirt. Nachdem nun einige Zuckungen aufgeschrieben waren und ich mich überzeugt hatte, dass sie ziemlich gleichmässig sind, benützte ich die zweite Vorrichtung, die am Rheotom angebracht war, und die dazu dient, wie wir erwähnt haben, in einem gewissen Momente den polarisirenden Strom der Batterie *(B)* mit den Elektroden *(m, n)* in Verbindung zu setzen und somit diesen Strom auf den Nerv wirken zu lassen; während der fortgesetzten Drehung des Rheotoms wurden die Zuckungen aufgeschrieben, welche dadurch entstanden, dass der Nerv in seiner katelektrotonischen Strecke gereizt wurde und deren Verlauf sich vor den Augen des Beobachters entwickelte. Aus der Höhe der Curve war man in der Lage, sofort über die Folgen der Stromschliessung zu urtheilen, jedoch wurde für jeden Fall sowohl die Intensität des polarisirenden Stromes am Galvanometer *(E)* abgelesen, als auch die Energie des angewandten Reizes nach allbekannten Regeln aus der am Galvanometer *(G)* ersichtlichen Ablenkung, der Lage des verschiebbaren Contactes bei *C* und der Capacität des Condensators berechnet.

Alle mit Hilfe der oben erwähnten Einrichtungen durchgeführten Versuche, in welchen ich einen polarisirenden Strom brauchte, der nicht stärker als 0·00002 *A* war, bestätigten auf graphischem Wege die bereits l. c. publicirten Ergebnisse.

Ich gehe zur Beschreibung von jenen Versuchen und von jenen Curven über, in welchen ich einen starken Strom brauchte, und welche eigentlich den Hauptzweck der gegenwärtigen Arbeit bilden.

Wenn wir den Nerv mit einem starken, constanten Strome in Pflüger's Sinne polarisiren und die Muskelzuckungen sowohl vor der Schliessung des Stromes als nach der Schliessung aufschreiben, so können wir leicht bemerken, dass die Zuckungscurven an Höhe abnehmen, und zwar sowohl in dem Falle, in welchem wir ganz nahe an der Kathode, als auch in dem Falle, in welchem wir nahe der Anode reizen.

Wir hätten also mit einer Erregbarkeitsherabsetzung sowohl in der katelektrotonischen als in der anelektrotonischen Strecke zu thun, und zwar mit einer kleineren an der Kathode und mit einer grösseren an der Anode. Die Curven (Fig. 1

und 2) mögen einen Beweis für diese Behauptung liefern. Die Zuckungen (*i*, Fig. 1) wurden vor der Schliessung des polarisirenden Stromes (2.10^{-5} Amp. = 0·02 Milliamp.), die Zuckungen (*h*, Fig. 1) nach der Schliessung desselben bei extrapolarer Reizung aufgeschrieben; die Zuckung *p* entspricht der Schliessung des constanten absteigenden Stromes.

Fig. 2 zeigt dasselbe Experiment, nur mit dem Unterschiede, dass hier die Richtung des Stromes aufsteigend war und die gereizte Nervenstelle sich also in der anelektrotonischen Strecke befand. Nach der Schliessung des constanten Stromes, welcher hier keine Muskelzuckung wie in dem oben erwähnten

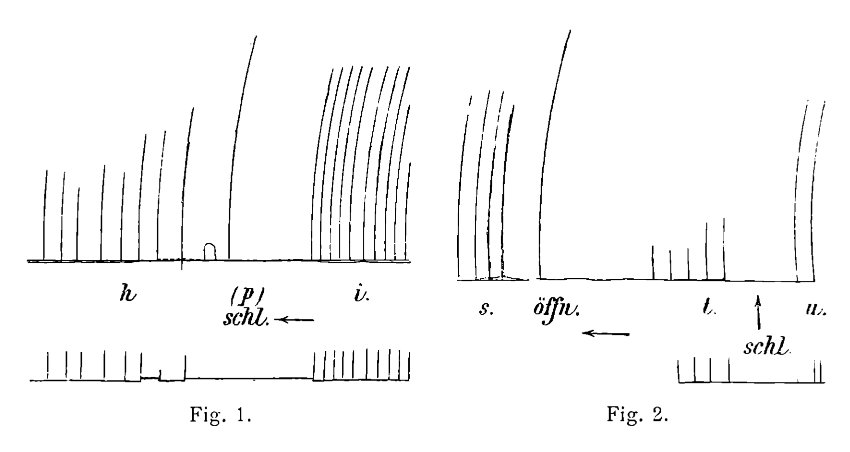


Fig. 1. Fig. 2.

Falle auslöste, wo die Richtung aufsteigend war, nahmen auch hier die mittelst Condensatorentladungen ausgelösten Zuckungen, wie es an der Figur sichtbar ist, an Stärke deutlich ab, und zwar noch mehr als im vorher beschriebenen Versuche, da wir ja in der anelektrotonischen Strecke reizten. Nach der Öffnung desselben erreichten sie aber wieder (bei *s*) dieselbe Grösse, wie vorher.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen hatte sich ergeben, dass der Indifferenzpunkt der elektrotonischen Erregbarkeitsveränderungen sich bei Steigerung von polarisirenden Strömen immer mehr der Kathode nähert, wodurch die Strecke der herabgesetzten Erregbarkeit länger, die der erhöhten kürzer wird und sogar ganz verschwinden kann. Diesen letzten Fall illustriren die zwei folgenden Curven (Fig. 3 und 4), in welchen

nach der Schliessung eines sehr starken Stromes (20 Chromsäureelemente; 0·15 Milliampères, Widerstand 95000 Ω), die Zuckung ganz aufgehoben wurde, und nach der Öffnung des Stromes wieder zum Vorschein kam.

Im ersten Versuche (Fig. 3) wurde die Erregbarkeit in der katelektrotonischen Strecke, im zweiten Versuche (Fig. 4) wurde sie in der anelektrotonischen Strecke geprüft; in beiden Curven haben wir einen Beweis, dass während der Dauer des Stromes gereizt wurde an den Zeichen des Elektromagneten, der jedesmal einen Strich *(n, m)* zeichnete, wenn der Nerv gereizt wurde. Nach der Öffnung des Stromes kommen die Zuckungen wieder zum Vorschein. Man könnte, um diese Thatsachen zu erklären, eine Verschiebung des Indifferenzpunktes bis jenseits des negativen Poles annehmen, oder eine Leitungsunfähigkeit derjenigen

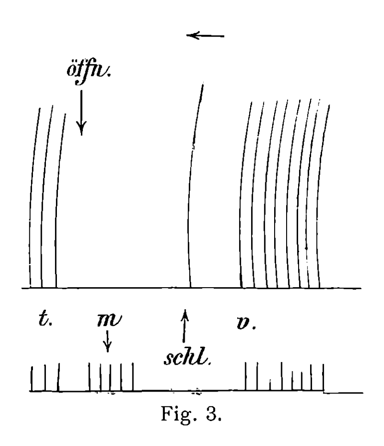


Fig. 3.

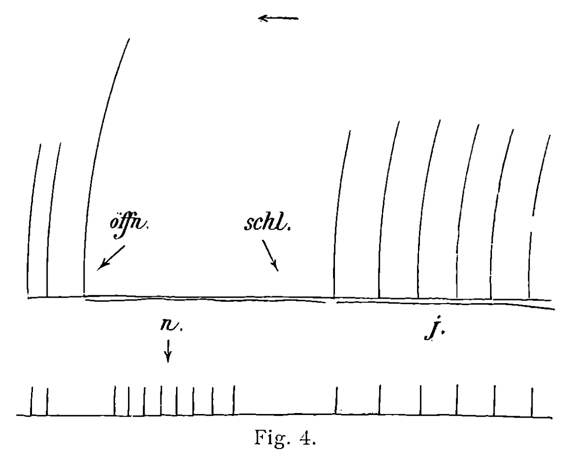


Fig. 4.

Nervenstrecke, welche die Erregung passiren muss, um zum Muskel zu gelangen.

Es bleibt mir noch zu erläutern, ob diese Herabsetzung oder eventuell Aufhebung der Erregbarkeit gleich nach der

Schliessung des Stromes auftritt oder ob wir es vielleicht mit einer Erscheinung zu thun haben, welche sich allmälig entwickelt.

Ich habe mir nämlich Pflüger's Erfahrung vor Augen gehalten, dass wir je nach der Stromstärke, welche angewandt worden ist, entweder eine Erhöhung der Erregbarkeit, oder einen Anfangs positiven und dann negativen Zuckungszuwachs, oder endlich einen sich immer mehr ausbildenden negativen Zuckungszuwachs sehen.

Zwar unterscheidet Pflüger diese drei Phasen nur für den sogenannten aufsteigenden Katelektrotonus, jedoch war dieser Satz für mich ein Wink, um nachzuforschen, was für einen Einfluss im Allgemeinen bei der Verwendung von starken Strömen die Dauer der Polarisation hat. Es wurde also der verschiebbare Seitencontact des Rheotoms, der zur Schliessung des polarisirenden Stromes diente, in verschiedenen Versuchen derart eingestellt, dass die Zeit, welche von der Schliessung bis zum ersten Condensatorreize verstrich, zwischen $^1/_8$ Secunde und 1 Secunde variirte. Die nachfolgenden Curven erläutern die erhaltenen Resultate.[1]

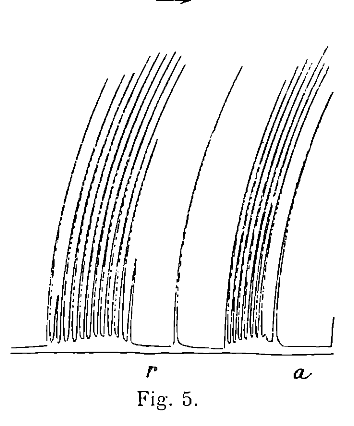


Fig. 5.

An der Curve *(a)* der Fig. 5 ist es ersichtlich, dass wenn diese Zeit $^7/_8$ Secunde beträgt, zunächst eine geringe Erregbarkeitsherabsetzung eintritt, die allmälig wieder zur Norm zurückkehrt.

Ist diese Zeit kürzer ($^1/_8$"), wie z. B. in der nächsten Curve *(r)*, so können wir nach der Schliessung des Stromes eine sehr beträchtliche Herabsetzung bemerken, die ohne weitere Erklärung aus der Zeichnung ersichtlich ist. Diese Herabsetzung der Erregbarkeit schwindet, um im weiteren Verlaufe neuerdings aufzutreten.

---

[1] In den Figuren 5 und 6 bedeuten die allein stehenden Zuckungscurven den Reiz des polarisirenden Stromes, die Gruppen von Zuckungen sind der Ausdruck der Condensatorentladungen.

Im dritten Versuche (Curve *b* der Fig. 6) war die Zeit derjenigen des ersten Versuches gleich, jedoch wurde jetzt mit einem viel stärkeren Strome experimentirt, der beinahe eine zweimal so grosse Intensität hatte (0·28 Milliamp.); wir ersehen sofort, dass es gelungen war, die Phase zu erhaschen, in welcher die Erregbarkeit noch beinahe auf Null herabgedrückt war.

Im vierten Versuche (Curve *g* der Fig. 6) war die Zeit derjenigen des ersten Versuches gleich, während die Stromstärke um weniges grösser war (0·16 Milliamp.).

Ich kann daraus nur folgern, dass je stärker der Strom ist, desto länger die Phasen der herabgesetzten Erregbarkeit dauern.

Deswegen habe ich auch in allen Versuchen, in welchen ich mich des Rheotomes nicht bediente, bei sehr starkem Strome diese lang dauernde katelektrotonische Herabsetzung bemerken können, während es mir unmöglich war, mit Hilfe des gewöhnlichen Verfahrens bei der Anwendung von schwächeren Strömen diese Phase zu finden.

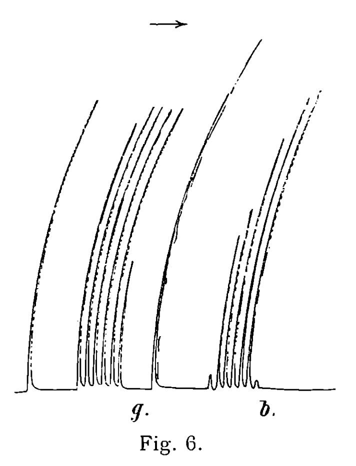


Fig. 6.

Ich glaube also berechtigt zu sein, als Ergebniss meiner graphischen Versuche über Erregbarkeitsveränderungen in der katelektrotonischen Strecke bei starkem Strome folgende Sätze auszusprechen:

Der Indifferenzpunkt nähert sich desto mehr der Kathode, je stärker der Strom ist und kann dieselbe sogar überschreiten, in welchem Falle wir eine sowohl intra-, als extrapolare Herabsetzung der Erregbarkeit an beiden Polen beobachten.

Bei dem gewöhnlichen Verfahren, wenn keine speciellen Einrichtungen getroffen sind, können diese Erscheinungen nur bei einer recht beträchtlichen Stromstärke beobachtet werden. Wenn aber der Nerv nur um einen Bruchtheil einer Secunde nach der Schliessung des polarisirenden Stromes gereizt wird, so ist zu ersehen, dass immer eine kurz dauernde Herabsetzung

der Erregbarkeit stattfindet, die jedoch desto ausgeprägter ist und länger dauert, je stärker der Strom ist.

Mir scheint, dass diese Ergebnisse sowohl mit den Pflüger'schen Gesetzen gewissermassen stimmen, als auch andererseits eine gewisse Erklärung für jene einzelnen Beobachtungen liefern, die hie und da ohne genaue Deutung veröffentlicht wurden.

Erklärung der Tafel.

I. Versuchsanordnung zur graphischen Registrirung der Zuckungen.

M Myographion.
N Schreibhebel mit Aluminiumfeder (1).
O Reizelektroden.
m, *n* Elektroden zum Polarisiren.
T Berusste Trommel.
2 Schwingende Feder nach Prof. Basch.
P Drahtgestell (verschiebbar).
pp', *rr'* Quecksilbernäpfchen.
g, *h* Verbindung der Elektroden mit dem constanten Strom.
x, *y* Verbindung der Elektroden mit dem Reizapparat.

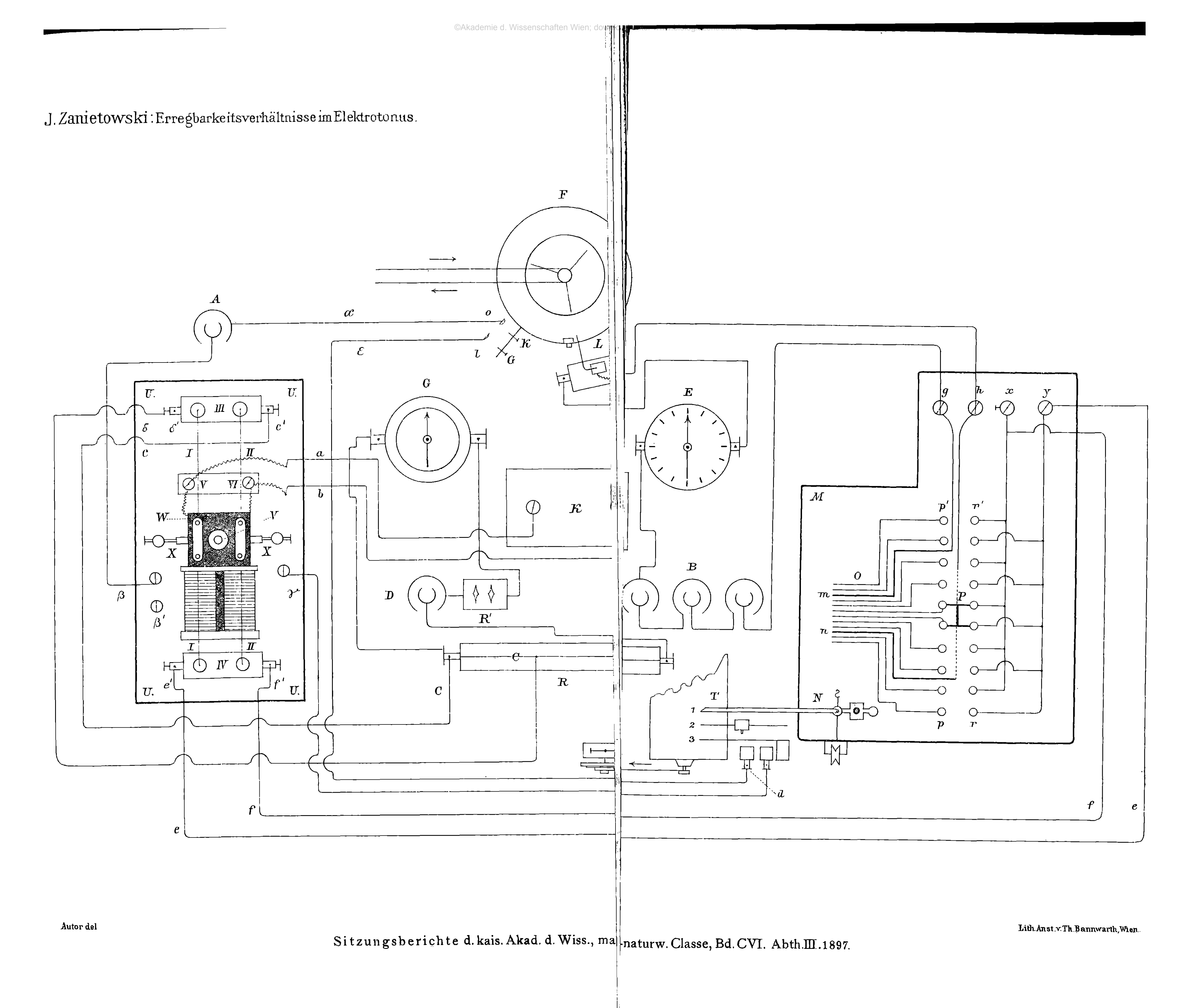
II. Versuchsanordnung zur Reizung mit Condensatorentladungen.

K Condensator.
D Batterie.
G Galvanometer (Milli-Ampèremeter).
R' Widerstand.
R Compensationsvorrichtung.
cc', *δδ'* Verbindung mit der ladenden Batterie *D*.
ee', *ff'* Verbindung mit dem Nerv.
β, β'γ Verbindung mit der treibenden Batterie *A*.
U Umschaltapparat.
A Batterie zum Betrieb des Umschaltapparates.
I, II Kupferdrähte.
III—IV Quecksilbernäpfchen (verstellbar).
x—*x* Axe des Neef'schen Hammers.

III. Versuchsanordnung zum Messen der Stromstärke des polarisirenden Stromes und der Zeit.

F Rheotom.
l, *o* Quecksilbernäpfchen.
G, *K* Contactspitzen.
L Contact.
E Galvanometer von Edelmann.
3) Elektromagnet.

J. Zanietowski: Erregbarkeitsverhältnisse im Elektrotonus.



Autor del

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.